

短花针茅草原不同载畜率对植物多样性和草地生产力的影响

韩国栋^{1,*}, 焦树英^{1,2}, 毕力格图^{1,3}, 敖登高娃^{1,4}

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018; 3. 加拿大萨斯卡切温大学农学院植物科学系, 萨斯卡通加拿大; 4. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010000)

摘要 采用不同载畜率的围栏放牧试验, 研究了内蒙古高原荒漠草原亚带短花针茅 (*Stipa breviflora* Griseb.) 草原群落在不同载畜率水平植物多样性变化规律和对草地生产力的影响。研究结果表明: 在 2a 的放牧过程中, 不同载畜率植物多样性指数的均值随年度的增加有降低的趋势, 但年度间差异未达到显著水平; 不同年度内, 植物多样性指数均在载畜率 1.027 只羊/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 附近出现峰值; 且载畜率为 1.027 只羊/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 时植物补偿性生长最高, 是最理想的载畜率水平。研究结果支持群落物种多样性与生产力相关格局中的负二次函数关系的单峰格局模型, 即中等生产力水平物种多样性最高。

关键词 植物多样性; 载畜率; 短花针茅草原; 生产力

文章编号: 1000-0933 (2007) 01-0182-07 中图分类号: Q948.5812 文献标识码: A

Effects of plant species diversity and productivity under different stocking rates in the *Stipa breviflora* Griseb. desert steppe

Han Guodong^{1,*}, Jiao Shuying^{1,2}, Biligetu^{1,3}, Aodenggaowa^{1,4}

1 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

2 College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

3 College of Agriculture, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan S7N5C5, Canada

4 Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010000, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (1) 0182 ~ 0188.

Abstract : The experiment was conducted in the *Stipa breviflora* Griseb. desert steppe, Inner Mongolia (41°47'17"N, 111°53'46"E, 1450m sea level) from 2002 to 2004. The objectives were to test the integrated influence of different stocking rates on species diversity and productivity with fenced sheep grazing. The results showed that the species diversity changed in the second year under different stocking rates, and the average species diversity decreased with the year, but there was no significance. The maximum species diversity occurred at a stocking rate of 1.027 sheep/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$). The aboveground net primary productivity of the plant species occurred with equal-compensatory growth when the stocking rate was below 1.027 sheep/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), but it decreased rapidly when the stocking rate increased. Therefore, the optimum stocking rate is 1.027 sheep/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) in this kind of steppe. The results in this study support the single-peak model with minus quadratic

基金项目 国家教育部“青年教师教学科研奖励计划”资助项目; 国家自然科学基金资助项目 (30060056, 30360022); 内蒙古科技厅科技攻关资助项目

收稿日期 2005-11-25; 修订日期 2006-07-19

作者简介 韩国栋 (1964 ~) 男, 内蒙古托克托县人, 博士, 教授, 主要从事草地生态学和生态系统管理研究. E-mail: nmghangd@hotmail.com

Foundation item : The project was financially supported by the Teaching and Research Award Program for Outstanding Young Teachers in Higher Education Institutions of MOE, China; National Natural Science Foundation of China (No. 30060056, 30360022); Scientific and Technological Committee of Inner Mongolia Autonomous Region

Received date 2005-11-25; **Accepted date** 2006-07-19

Biography : Han Guodong, Ph. D., Professor, mainly engaged in grassland ecology and ecosystem management. E-mail: nmghangd@hotmail.com

function in the relationship between species biodiversity and productivity of the plant community , that is , that maximum species diversity occurs at the moderate plant productivity.

Key Words : plant species diversity ; stocking rates ; *Stipa breviflora* Griseb ; desert steppe ; productivity

草原生态系统是最重要的陆地生态系统之一 ,草地生态系统持续管理和生产力的维持在很大程度上依赖于草地植物群落的生物多样性^[1~6]。许多研究表明 ,生物多样性具有重要的生态功能^[7~12]。温带草原作为我国草地的主体部分 ,是优先开展生物多样性监测与研究的五大陆地生物群落之一^[13]。作为最受瞩目的自然半自然生态系统 ,草地生态系统具有许多遗传和生态上独特的物种和生态景观^[14,15]。放牧作为人类对草地生态系统管理和利用的主要手段 ,是影响草地群落结构和功能的最主要人为干扰方式^[16,17]。

放牧产生的许多问题已经在多方面得到重视和研究^[16,18,19] ,其中放牧梯度下物种多样性的变化格局是一个重要的研究方向。关于草原群落的植物多样性及其放牧的关系 ,国内外已有了大量的研究报道^[20~23]。李永宏对内蒙古锡林河流域羊草和大针茅草原在放牧影响下植物多样性的变化研究表明 ,适度放牧条件下植物多样性最高 ,并分析了冷蒿和星毛委陵菜 (*Potentilla acaulis*) 在不同放牧阶段对草地退化的阻击作用 ;对东北羊草草地群落放牧干扰植物多样性变化的研究表明 ,放牧干扰对草地植物群落物种多样性的影响符合“中度干扰理论”^[17]。

其它很多试验研究也证明中等程度的放牧强度能有效提高群落生物多样性 ,进而影响草地的生产力和稳定性 ,过度放牧则会造成草地生产力下降 ,导致草地退化。在草地退化的诸多评价指标中 ,放牧压力梯度上物种多样性的变化是一个重要的测度指标^[24]。探讨放牧压力梯度上草地群落物种多样性的变化规律 ,对确定草地退化阶段、揭示退化机理具有重要指示意义。

从有关的研究成果也可以看出 ,国内关于放牧对草地多样性的影响多基于典型草原和草甸草原地区。由于放牧干扰的强度、频率、利用历史、气候条件等等都是影响草地多样性变化的重要因素 ,因此针对不同的草地类型 ,应具体问题具体分析。荒漠草原作为脆弱的生态系统 ,其放牧影响下的生物多样性问题及不同植物对草地生物多样性影响的研究 ,目前仅有一些零星的报道^[5]。

荒漠草原在我国温带草原中占有重要地位 ,它的生态地理条件、种类组成、群落结构、群落功能显示出它在生态学上的独特性。本文以内蒙古中温型荒漠草原亚带的主体类型—短花针茅+冷蒿草原为代表 ,探讨荒漠草原群落多样性及其生产力在控制放牧影响下的变化 ,为草原生物多样性保护和草原生物资源的可持续利用提供依据。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

1.1.1 自然概况

试验地位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗王府一队 ,地处北纬 41°47'17" ,东经 111°53'46" ,海拔 1450m。属于典型的大陆性气候 ,春季干旱多风 ,夏季炎热 ,≥10℃ 的年积温为 2200~2500℃ ,年均降水量 280mm ,湿润度 0.15~0.3 ,降水量主要集中在 5~8 月份 ,月平均温度最高月为 6、7、8 三月份 ,年均气温 21.5、24.0、23.5℃ ,无霜期 175d。实验期间的降水量和气温变化见图 1。土壤为淡栗钙土 ,土壤有机碳含量为 1.3% ,全氮含量为 0.13%。

试验地的草地类型为短花针茅+冷蒿+无芒隐子草荒漠草原 ,植被草层低矮 ,一般为 8cm ,且植被较稀疏 ,盖度为 17%~20% ,种类组成较贫乏 ,植物群落由 20 多种植物组成。建群种为短花针茅 (*Stipa breviflora*) ,优势种为冷蒿 (*Artemisia frigida*)、无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*)。主要伴生种有银灰旋花 (*Convolvulus ammannii*)、阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、栉叶蒿 (*Artemisia pectinata*)、木地肤 (*Kochia prostrata*)、狭叶锦鸡儿 (*Caragana stenophylla*)、羊草 (*Leymus chinensis*)。试验前草地已出现了一定程度的退化现象 ,试验前各处理小区主要植物种的盖度见表 1。

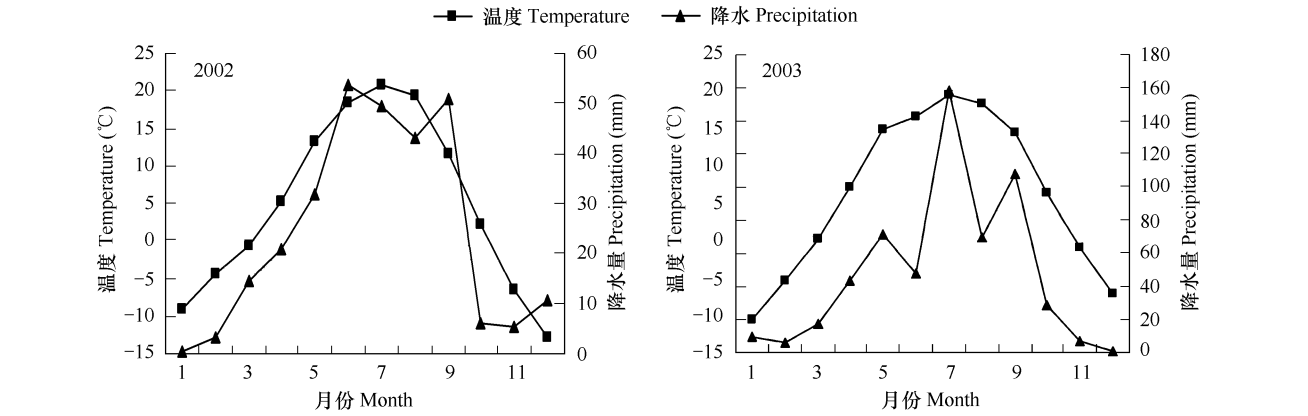


图 1 实验期间样地的降水量和气温变化

Fig. 1 The dynamic of tempeture and precipitation during 2002 and 2003

表 1 试验前各处理小区植物种的盖度 (%)

植物种 Plant species	载畜率 Stocking rates (sheep/ (hm ² · a))						
	0	0.686	0.794	0.918	1.027	1.213	1.477
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	4.14	5.02	3.22	3.18	2.89	3.02	3.13
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	8.59	9.87	7.90	7.23	6.86	6.94	6.02
无芒隐子草 <i>Cleistogenes songorica</i>	5.30	2.6	1.57	2.56	2.37	3.43	2.23
银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	1.93	2.28	1.80	2.15	2.04	2.49	2.62
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.29	0.7	0.33	0.46	0.31	0.35	0.53
柃叶蒿 <i>Artemisia pecinata</i>	1.70	0.49	1.22	1.58	0.94	0.53	0.85
木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	0.06	0.38	0.12	0.14	0.23	0.5	0.45
狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>	0.04	0.17	0.36	0.19	0.05	0.45	0.02
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	0.08	0.00	0.02	0.00	0.12	0.07	0.00

1.2 试验设计与测定方法

1.2.1 试验设计

试验采用围栏放牧,设置 6 个不同载畜率水平:面积分别为 8.75、8.82、8.71、8.76、9.07、8.81 hm²,分别放牧 6、7、8、9、11、13 只体重相近的 2 岁蒙古细毛羯羊,设计的放牧期为每年 12 个月,载畜率分别为 0.686 (A)、0.794 (B)、0.918 (C)、1.027 (D)、1.213 (E)、1.477 (F)只羊/(hm²·a)。另外设置一个不放牧的对照区 (CK),载畜率为 0 只羊/(hm²·a),面积为 1 hm²。试验于 2002 年 7 月正式开始,每天将家畜赶入放牧区让其自由采食,夜间赶回畜圈休息。提供足够的饮水,定期补盐,各小区的管理措施一致。

1.2.2 物种多样性指数测度方法

每年以 8 月份野外测得数据来计算,每个小区随机布置 10 个样方,样方面积为 1m²,分种统计植物盖度、密度、高度,并取地上生物量,自然风干后称重。

α 多样性指数选用 3 种指数,即综合多样性指数 (Diversity index)、丰富度指数 (Richness index)、均匀度指数 (evenness index),每一指数均选取两种表示方法,共 6 个指数。公式如下:

Margalef 丰富度指数 (Ma)
$$Ma = (S - 1) / \ln N$$

Patrick 丰富度指数 (Pa)
$$Pa = S$$

Shannon-Wiener 多样性指数 (H')
$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Simpson 多样性指数 (D)
$$D = 1 - \sum (P_i)^2$$

Pielou 均匀度指数 (JP)
$$JP = - P_i \ln P_i / \ln S$$

Alatalo 均匀度指数 (EA)
$$EA = \frac{(\sum P_i^2)^{-1} - 1}{\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1}$$

式中 S 为物种数目 N 为所有物种个体总数 P_i 可代表相对盖度、相对密度等 ,本研究中用综合特征量植物的重要值与样地总的重要值的比值代替。

1.2.3 植物净生长量

放牧试验开始之前 ,测定每个放牧区和对照区地上植物现存量 ,并在每个放牧区随机布置 5 个活动围栏 ($1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$) ,每月移动一次 ,测定笼内外地上植物现存量 ,并同期测定对照区地上植物现存量 ,样方面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。

对照区植物净生长量是指生长季节最高月份的植物地上现存生物量。放牧条件下 ,草地牧草生产力是指生长初期生物量和放牧过程中牧草生长量之和^[25]。牧草生长量由下式计算：

牧草生长量 = $(f - c) + (c - f) \times (\log d - \log f) \div (\log c - \log f)$

式中 c 为初始笼外现存生物量 (时间为 0) d 为时间 1 的笼内现存生物量 f 为时间 1 的笼外现存生物量。

采用 SAS9.0 软件包对相关数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同载畜率群落物种多样性变化

6 个载畜率群落多样性指数对年度变化的响应有所不同 (表 2)。载畜率小于 $0.918\text{ 只羊}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 时 (A ,B ,C 处理) ,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数都随放牧年度的增加呈逐渐降低的趋势。当载畜率等于 $1.027\text{ 只羊}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $1.213\text{ 只羊}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 时 (D ,E 处理) ,放牧第 2 年的 Shannon-Wiener 指数要高于放牧第一年。其它多样性指数并未就年度变化表现一致的规律 ,但就各载畜率多样性指数均值来看 ,随放牧年度的增加 ,各多样性指数均值逐渐降低。同一放牧年度内 ,各载畜率间的多样性指数差异基本不显著 ,这可能与放牧处理的时间长短有关。如果处理年度延长 ,多样性指数的差异会更明显。从数值上观察 ,载畜率达到 $1.027\text{ 只羊}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 时 ,多样性指数均在这一载畜率下出现峰值。不同载畜率群落物种多样性变化格局反映了放牧干扰强度对物种多样性的影响。对于试验群落采用全年放牧方式 ,通过两年的放牧处理 ,中度干扰强度为 $1.027\text{ 只羊}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,这也为后续不同载畜率的设定提供了一定的理论依据。

表 2 植物群落的多样性指数
Table 2 Diversity indices of plant community

处理 * Treatment	Patrick 指数 Patrick's index		Margalef 指数 Margalef's index		Shannon 指数 Shannon's index	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
CK	10b ± 5.72	13ab ± 6.36	1.766b ± 0.77	2.127a ± 1.15	1.144a ± 1.02	1.155a ± 1.06
A	12b ± 4.43	15a ± 4.05	2.222ab ± 1.56	2.538a ± 1.1	1.295a ± 0.54	1.05a ± 1.08
B	14b ± 4.9	15a ± 7.23	2.752ab ± 1.04	2.508a ± 1.19	1.285a ± 0.91	1.079a ± 0.82
C	16ab ± 3.99	16a ± 6.93	3.09a ± 2.04	2.636a ± 1.76	1.314a ± 0.93	1.203a ± 0.46
D	17a ± 4.24	17a ± 8.03	3.479a ± 2.69	2.838a ± 1.39	1.317a ± 1.08	1.363a ± 0.42
E	11b ± 5.94	13ab ± 5.62	2.171ab ± 0.77	2.264a ± 1.62	1.294a ± 0.92	1.303a ± 0.52
F	10b ± 4.21	11b ± 4.38	2.006ab ± 5.03	1.915a ± 1.09	1.316a ± 0.78	1.195a ± 0.72

处理 Treatment	Simpson 指数 Simpson's index		Pielou 指数 Pielou's index		Alatalo 指数 Alatalo's index	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
CK	0.679a ± 0.52	0.582a ± 0.15	0.497a ± 1.52	0.45a ± 0.25	0.528a ± 0.27	0.516a ± 0.17
A	0.803a ± 0.37	0.503a ± 0.28	0.521a ± 1.22	0.388a ± 0.29	0.547a ± 0.4	0.545a ± 0.11
B	0.829a ± 0.87	0.524a ± 0.17	0.487a ± 0.32	0.398a ± 0.23	0.537a ± 0.16	0.567a ± 0.34
C	0.838a ± 0.23	0.545a ± 0.48	0.474a ± 0.32	0.404a ± 0.15	0.595a ± 0.28	0.58a ± 0.20
D	0.86a ± 0.29	0.697a ± 0.23	0.565a ± 0.42	0.566a ± 0.22	0.657a ± 0.16	0.644a ± 0.34
E	0.836a ± 0.22	0.656a ± 0.48	0.54a ± 0.19	0.508a ± 0.44	0.63a ± 0.25	0.61a ± 0.25
F	0.843a ± 0.2	0.594a ± 0.39	0.514a ± 0.23	0.498a ± 0.24	0.563a ± 0.37	0.536a ± 0.31

* 载畜率 Stocking rates (Sheep/ (hm² · a)) :CK 0 ;A 0.686 ,B 0.794 ,C 0.918 ,D 1.027 ,E 1.213 ,F 1.477 ;下同 the same below

2.2 不同载畜率植物群落净生长量

从两年的植物群落净生长量看出 (表 3) ,放牧第 2 年的净生长量比第 1 年明显下降 ,说明连续的放牧对草地的生产极为不利。2002 年净生长量 CK 区显著高于 C、E、F 区 ($P < 0.05$) ,与 A、B、D 区之间没有显著差异 ($P > 0.05$) ,E、F 区之间无显著差异 ($P > 0.05$)。2003 年群落地上净生长量 CK、A 区显著高于 E、F ,D 区显著高于 F 区 ($P < 0.05$) ,CK、A、B、C、D 区以及 E、F 区之间均无显著差异 ($P > 0.05$)。说明载畜率过低 (A、B 区)不但对资源是一种浪费 ,同时对牧草本身来讲对其生长也起不到促进作用。而进行适当的放牧利用 ,植物则表现出补偿性生长 ,载畜率低于 1.213 只羊/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)时群落表现为等补偿性生长 ,高出这个阈值表现为欠补偿性生长。表明载畜率为 1.027 只羊/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)时植物补偿性生长最高 ,是最理想的载畜率水平。

表 3 植物群落净生长量
Table 3 The aboveground net primary production of plant community

处理 Treatment	2002			2003		
	平均值 Mean	标准差 SD	显著水平 $P > 0.05$	平均值 Mean	标准差 SD	显著水平 $P > 0.05$
CK	217.13	48.55	a	81.34	11.12	a
A	196.77	77.22	a	76.38	23.31	a
B	190.43	38.44	a	67.84	13.78	ab
C	125.61	88.99	b	69.4	8.57	ab
D	135.47	71.99	a	75.22	24.99	a
E	96.98	38.78	b	60.8	11.68	b
F	98.07	29.66	b	59.1	12.11	b

2.3 群落物种多样性与生产力的关系

草地群落物种丰富度、均匀度和多样性与净生长量关系的趋势模拟均呈负二次函数关系 ,即单峰型函数关系 (图 2) ,对其拟合关系通过回归检验 ,植物群落净生长量与 Patrick 指数 ($F = 0.65$, $Pr > F : 0.5433$)、Margalef 指数 ($F = 1.27$, $Pr > F : 0.3181$)、Pielou 指数 ($F = 2.64$, $Pr > F : 0.1159$)拟合结果不显著 ,与 Shannon 指数 ($F = 5.45$, $Pr > F : < 0.0026$)、Simpson 指数 ($F = 34.18$, $Pr > F : < 0.0001$)、Alatalo 指数 ($F = 87.33$, Pr

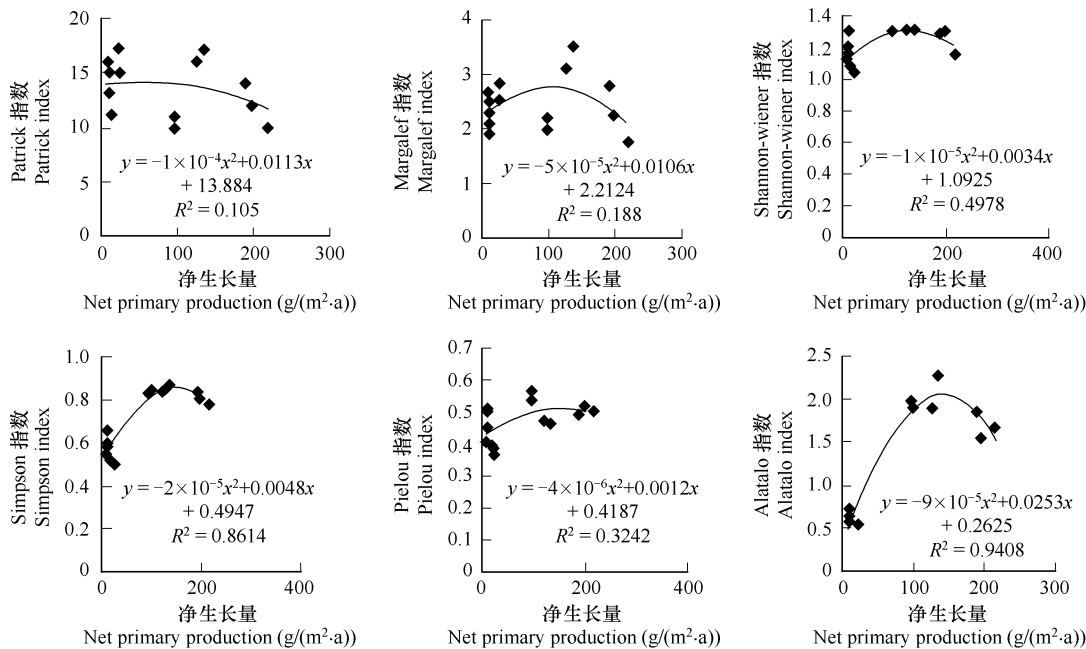


图 2 群落物种多样性与净生长量的关系

Fig. 2 Relationship between aboveground net primary production (ANPP) and species diversity of plant community

$>F : <0.0001$)拟合结果显著。说明单峰型函数关系是研究短花针茅草原群落物种丰富度、均匀度和多样性与生产力关系格局较好的表达形式。因此可以得出研究区域内主要草地群落中等生产力水平时物种多样性最高的结论。

3 讨论与结论

不同多样性指数的变化趋势表明,在放牧处理的第 1、2 年,尽管不同处理多样性指数的均值随年度的增加有降低的趋势(表 2),但方差分析表明,年度间多样性指数差异均不显著($P > 0.05$)。由于年度的影响作用并不仅仅包含放牧干扰的持续时间,它可能包含降雨量、温度等等综合气候的影响作用。在荒漠草原地区,气候的年度差异往往是惊人的。在载畜率达到 1.027 只羊/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 时,不同年度内,各多样性指数均在这一干扰强度附近出现峰值,表明采用全年放牧方式,1.027 只羊/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 是对应于试验草地群落类型的中度放牧干扰强度。

草地的第一性生产力与载畜率的关系是非线性的,即随着载畜率的增大,草地的植物生产力将会增加,直至某一点时达到最佳值,而后下降。也就是说,放牧系统中存在着植物补偿性生长。国内研究者以短花针茅草原放牧系统为研究对象,证实了放牧系统中补偿性生长的存在,并指出植物的补偿性生长与载畜率、降水量、土壤水分有密切关系^[26]。在本研究中,载畜率低于 1.213 只羊/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) 时群落表现为等补偿性生长,高出这个阈值表现为欠补偿性生长。载畜率是放牧系统中影响植物补偿反应的主要因素之一。适宜的载畜率水平内,短花针茅草原可以获得较高的净生长量,保持其长期处于等补偿或有条件的超补偿生长的状态,能够维持草原植物群落组成的相对稳定,保持草原的可持续利用。

生态系统的物种组成、物种之间及其与环境因子之间的相互作用决定生态系统的性质、结构和功能,进而影响系统的稳定性。群落物种多样性是反映群落结构的可测定性指标,它与生态系统的功能密切相关,而生产力是系统功能过程后果的重要表现形式。因此,探讨二者的相互关系是生物多样性与生态过程研究中的重要内容,而且物种多样性与生产力之间的关系一直是生态学家研究和讨论的热点问题之一。自然群落的物种多样性常与生产力密切相关,其相关性格局主要表现为 3 种形式,即单调上升、单调下降和单峰关系。对多样性与生产力关系的单峰格局主要有 3 种解释,一种认为高生产力导致高速的种群增长,使潜在的竞争得以迅速实现^[27-28];一种认为中等扰动是关键因素,单峰关系并非生产力本身造成,可能是一些其它扰动因子和生产力平行变化^[29];另一些解释认为高生产力环境中资源空间异质性下降,从而导致竞争排除增加^[30]。从本研究结果看,草地群落的植物多样性与生产力呈显著的负二次函数关系,支持随生态系统生产力的增加,物种多样性为单峰曲线,即在中等生产力水平物种多样性最高的观点,这与有关学者研究结果一致^[6]。也有研究认为群落物种多样性的空间变化与群落第一性生产力的分布呈显著的非线性正相关,符合“S”型曲线的变化特点^[31]。这可能与研究的尺度有关系。在一些尺度上,生产力影响多样性,而在另一些尺度上,物种多样性则影响生产力,植物多样性对草地群落生产力的影响也不一定是唯一的、甚至是最主要的决定因素。

References :

[1] Tilman D , Downing J A . Biodiversity and Stability in grasslands. *Nature* ,1994 ,367 :363 — 365.
 [2] Kareiva P , Diversity and sustainability on the Prairie. *Nature* ,1996 ,379 :673 — 674.
 [3] Tilman D , Wedin D , Knops J . Productivity and sustainability in fluenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* ,1996 ,379 :718 — 720.
 [4] Hooper D U , Vitousek P M . The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* ,1997 ,277 :1302 — 1305.
 [5] Wang G H , Ren J Z , Zhang Z H . Studies on the population diversity of plant community in Hexi mountain-oasis-desertarea , Gansu , China. *Acta Prataculturae Sinica* ,2002 ,11 (1) :31 — 37.
 [6] Yang L M , Zhou G S , Li J D . Relationship between productivity of grassland communities in Songnen plain of Northeast China. *Acta Phytoecologica Sinica* ,2002 ,26 (5) :589 — 593.
 [7] Collins S L , Knapp A K , Briggs J M , *et al.* Steinauer EM , Modulation of diversity by razing and mowing in native tallgrass prairie. *Science* ,1998 ,280 :745 — 747.
 [8] Tilman D , Lehman C L , Thomson K T . Plant diversity and ecosystem productivity : theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* ,1997 ,94 :1857 — 1861.

[9] Yachi S , Loreau M. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment : the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* , 1999 , 96 : 1463 — 1468.

[10] Kassen R , Angus B , Graham B , *et al.* Diversity peaks at intermediate productivity in a laboratory microcosm. *Nature* , 2000 , 406 : 508 — 511.

[11] Li Z Q. The complexity and diversity of typical plant communities along the Northeast China Transect (NECT). *Acta Botanica Sinica* , 2000 , 42 (9) : 971 — 978.

[12] Bai Y F , Xu Z X , Li D X. Study on α diversity of four *Stipa* communities in Inner Mongolia plateau. *Chinese Biodiversity* , 2000 , 8 (4) : 353 — 360.

[13] Li Y H. Grazing dynamics of the species diversity in *Aneurolepidium chinense* steppe and *Stipa grandis* steppe. *Acta Botanica Sinica* , 1993 , 35 (11) : 877 — 881.

[14] Schlaper F , Schmid B. Ecosystem effects of biodiversity : a classification of hypotheses and exploration of empirical results. *Ecological Applications* , 1999 , 9 : 893 — 912.

[15] Bai Y F , Li L H , Wang Q B , *et al.* Changes in plant species diversity and productivity along gradients of precipitation and elevation in the Xilin River Basin , Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica* , 2000 , 24 (6) : 667 — 673.

[16] Wang R Z , Effects of disturbances on species diversity in grassland ecosystems. *Journal of Northeast Normal University* , 1996 , 3 , 112 — 116.

[17] Yang L M , Han M , Li J D. Plant diversity change in grassland communities along a grazing disturbance gradient in the Northeast China Transect. *Acta Phytocologica Sinica* , 2001 , 25 (1) , 110 — 114.

[18] Li X Z , Chen Z Z. Influences of stocking rates on C , N , P contents in plant-soil system. *Acta Agrestia Sinica* , 1998 , 6 (2) : 90 — 98.

[19] Wang Y F , Chen Z Z , Tieszen L T. Distribution of soil organic carbon in the major grasslands of Xilinguole , Inner Mongolia , China. *Acta Phytocologica Sinica* , 1998 , 22 (6) : 545 — 551.

[20] Grimes J P , Control of species diversity in herbaceous vegetation. *Journal of Environmental Management* , 1973 , 1 : 151 — 167.

[21] Collins S L , Barber S C , Effects of disturbance on diversity in mixed-grass prairie. *Vegetation* , 1985 , 64 , 87 — 94.

[22] Collins S L , Interaction of disturbances in tall grass prairie ; a field experiment. *Ecology* , 1987 , 68 (5) , 1243 — 1250.

[23] Wang S P , Li Y H , Wang Y F , *et al.* Influence of different stocking rates on plant diversity of *Artemisia frigida* community in Inner Mongolia steppe. *Acta Botanica Sinica* , 2001 , 43 (1) , 89 — 96.

[24] Grimes J P. Benefits of plant diversity to ecosystem : immediate , filter and founder effects. *Journal of Ecology* , 1998 , 86 , 902 — 910.

[25] Ivins J D. The measurement of grassland production , proceeding of the University of Nottingham Sittth Easter School in Agricultural Science. 1959.

[26] Han G D , Li B , Wei Z J , *et al.* Plant compensatory growth in the grazing system of *Stipa breviflora* desert steppe I . Plant net productivity. *Acta Agrestia Sinica* , 1999 , 7 (1) : 1 — 7.

[27] Al-Mufti M M , Sydes C L , Furness S B , *et al.* Aquantitative analysis of shoot phenology and dominance in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology* , 1997 , 65 : 759 — 791.

[28] Huston M , A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist* , 1979 , 113 : 81 — 101.

[29] Abramsky Z , Rodenzweig M L. Tilman's predicted productivity diversity relationship shown by desert rodents. *Nature* , 1984 , 309 , 150 — 151.

[30] Tilman D. Resource competition and community structure. Princeton : Princeton University Press , 1982.

[31] Wu Y N , Zhang Y F. The relationship of grassland plant community species diversity and productivity. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol* , 1997 , 28 (5) : 667 — 673.

参考文献：

[5] 王国宏 , 任继周 , 张自和. 河西山地绿洲荒漠植物群落多样性研究 II . 放牧扰动下草地多样性的变化特征. *草业学报* , 2002 , 11 (1) : 31 ~ 37.

[6] 杨利民 , 周广胜 , 李建东. 松嫩平原草地群落物种多样性与生产力关系的研究. *植物生态学报* , 2002 , 26 (5) : 589 ~ 593.

[1] 李镇清. 中国东北样带 (NECT) 植物群落复杂性 & 多样性研究. *植物学报* , 2000 , 42 (9) : 971 ~ 978.

[12] 白永飞 , 许志信 , 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落 α 多样性研究. *生物多样性* , 2000 , 8 (4) : 353 ~ 360.

[13] 李永宏. 放牧影响下羊草草原和大针茅草原植物多样性的变化. *植物学报* , 1993 , 35 (11) : 877 ~ 881.

[15] 白永飞 , 李凌浩 , 王其兵 , 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水分梯度变化的样带研究. *植物生态学报* , 2000 , 24 (6) : 667 ~ 673.

[16] 王仁忠. 干扰对草地生态系统生物多样性的影响. *东北师范大学学报* , 1996 , 3 : 112 ~ 116.

[17] 杨利民 , 韩梅 , 李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化. *植物生态学报* , 2001 , 25 (1) : 110 ~ 114.

[18] 李香真 , 陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P 含量的影响. *草地学报* , 1998 , 6 (2) : 90 ~ 98.

[19] 王艳芬 , 陈佐忠 , Tieszen L T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响. *植物生态学报* , 1998 , 22 (6) : 545 ~ 551.

[23] 汪诗平 , 李永宏 , 王艳芬 , 陈佐忠. 不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响. *植物学报* , 2001 , 43 (1) : 89 ~ 96.

[26] 韩国栋 , 李博 , 卫智军 , 等. 短花针茅草原放牧系统植物补偿性生长的研究 I . 植物净生长量. *草地学报* , 1999 , 7 (1) : 1 ~ 7.

[31] 乌云娜 , 张云飞. 草原植物群落物种多样性与生产力的关系. *内蒙古大学学报* , 1997 , 28 (5) : 667 ~ 673.